

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-043848
 (43)Date of publication of application : 08.02.2002

(51)Int.Cl. H03B 9/10
 H03L 7/00
 // H05B 6/66

(21)Application number : 2000-231503
 (22)Date of filing : 31.07.2000

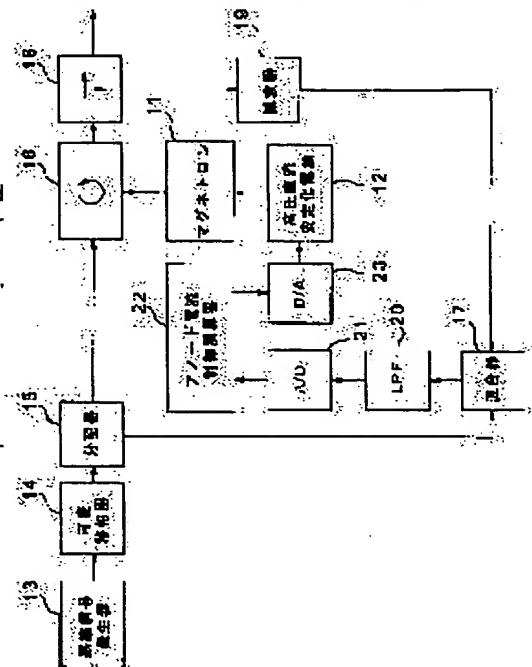
(71)Applicant : UNIV KYOTO
 (72)Inventor : MATSUMOTO HIROSHI
 SHINOHARA MASATAKE

(54) MICROWAVE GENERATOR USING MAGNETRON FREQUENCY/PHASE CONTROL CIRCUIT AND MAGNETRON

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To readily stabilize phase of the oscillation output of a magnetron and make it controllable.

SOLUTION: By a high-voltage DC stabilizing power-supply 12, an anode current flows in the magnetron 11 to make it into oscillation state. By a circulator 16, a reference signal is fed into the magnetron 11 for synchronizing with the oscillation frequency. Microwaves, radiated from the magnetron 11 are extracted by the circulator 16, are allowed to be partially branched by a directional coupler 18, and are compared with the reference signal by a mixer 17. Then, the comparison result is inputted to an anode current control computing element 22, the frequency/phase difference between microwave output and the reference signal is obtained, and the anode current is controlled via the stabilization power-supply 12 for eliminating the error amount. By feedback control with respect to the anode current, the oscillation output of the magnetron 11 is locked very stably to the frequency and to the phase of the reference signal. Therefore, by changing the phase of the reference signal using a variable phase-shifter 14, the microwave output phase can be made readily variable.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 31.07.2000
 [Date of sending the examiner's decision of rejection] 25.06.2002
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal for application]
 [Patent number] 3697504
 [Date of registration] 15.07.2005
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2002-14168
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-43848

(P2002-43848A)

(43)公開日 平成14年2月8日 (2002.2.8)

(51)Int.Cl.⁷
H 03 B 9/10
H 03 L 7/00
// H 05 B 6/66

識別記号

F I
H 03 B 9/10
H 03 L 7/00
H 05 B 6/66

テ-マコ-ト⁸ (参考)
3 K 0 8 6
B 5 J 1 0 6
B

審査請求 有 請求項の数 6 O.L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願2000-231503(P2000-231503)

(22)出願日 平成12年7月31日 (2000.7.31)

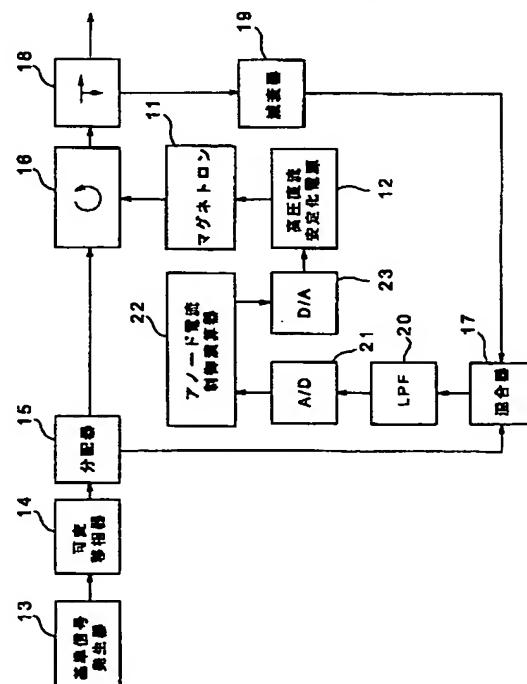
(71)出願人 391012442
京都大学長
京都府京都市左京区吉田本町36の1番地
(72)発明者 松本 紘
奈良県奈良市左京一丁目18-22
(72)発明者 塩原 真毅
京都府宇治市五ヶ庄 京大職員宿舎121号
(74)代理人 100058479
弁理士 鈴江 武彦 (外5名)
Fターム(参考) 3K086 AA09 CC01 CD02 DB17
5J106 AA02 CC01 CC55 CC59 DD11
DD14 DD15 DD35 DD36 EE01
GG01 HH01 KK05 KK39

(54)【発明の名称】 マグネトロン周波数／位相制御回路とマグネトロンを用いたマイクロ波発生装置

(57)【要約】

【課題】 マグネトロンの発振出力の位相を容易に安定化し、制御可能とする。

【解決手段】 高圧直流安定化電源12によりマグネトロン11にアノード電流を流して発振状態とし、サーチュレータ16により基準信号をマグネトロン11に注入してその発振周波数を基準信号に同期させる。マグネトロン11から放射されるマイクロ波をサーチュレータ16で取り出し、方向性結合器18によって一部分岐させ、混合器17で基準信号と比較し、その比較結果をアノード電流制御演算器22に入力して、マイクロ波出力と基準信号との周波数／位相誤差を求め、その誤差分をなくすように上記安定化電源12を通じてアノード電流を制御する。このアノード電流に対するフィードバック制御により、マグネトロン11の発振出力は基準信号の周波数及び位相に高安定でロックされるため、基準信号の位相を可変移相器14で変化させることで、容易にマイクロ波出力位相を可変することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 マグネットロンにアノード電流を供給して発振状態とするアノード電流源と、前記マグネットロンの固有発振周波数に近い周波数を持つ基準信号を前記マグネットロンに注入して、前記マグネットロンの発振周波数を前記基準信号の周波数に引き込んで同期させる注入同期手段と、前記マグネットロンの発振出力と前記基準信号とを比較して両者の周波数及び位相誤差を求め、前記アノード電流源のアノード電流出力を制御して前記周波数及び位相誤差を補正するフィードバック制御手段とを具備することを特徴とするマグネットロン周波数／位相制御回路。

【請求項2】 さらに、前記基準信号の位相を制御する位相制御手段を備え、この位相制御手段により基準信号の位相を可変することで前記マグネットロンの発振出力位相を制御することを特徴とする請求項2記載のマグネットロン周波数／位相制御回路。

【請求項3】 前記基準信号のマグネットロンへの注入及びこのマグネットロンの発振出力の取り出しにサーキュレータを用いることを特徴とする請求項1記載のマグネットロン周波数／位相制御回路。

【請求項4】 マグネットロンにアノード電流を供給して発振状態とすることで前記マグネットロンにマイクロ波を放射させるアノード電流源と、前記マグネットロンの固有発振周波数に近い周波数を持つ基準信号を生成する基準信号生成器と、この基準信号生成器から出力される基準信号を前記マグネットロンに注入して、前記マグネットロンの発振周波数を前記基準信号の周波数に引き込んで同期させる注入同期手段と、

前記マグネットロンの発振出力と前記基準信号とを比較して両者の周波数及び位相誤差を求め、前記アノード電流源のアノード電流出力を制御して前記周波数及び位相誤差を補正するフィードバック制御手段とを具備することを特徴とするマグネットロンを用いたマイクロ波発生装置。

【請求項5】 さらに、前記基準信号の位相を制御する可変移相器を備え、この可変移相器により基準信号の位相を制御することで前記マイクロ波出力を任意の位相に制御することを特徴とする請求項4記載のマグネットロンを用いたマイクロ波発生装置。

【請求項6】 前記基準信号のマグネットロンへの注入及びこのマグネットロンから放射されるマイクロ波の取り出しにサーキュレータを用いることを特徴とする請求項4記載のマイクロ波発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、マグネットロンの発振周波数及び位相を制御するマグネットロン周波数／位相制御回路と、マグネットロンを用いてマイクロ波を発生す

るマイクロ波発生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来から高出力のマイクロ波発生装置にはマグネットロンがよく用いられる。このマグネットロンを用いたマイクロ波発生装置にあっては、マグネットロン固有の発振周波数に近い周波数を持った基準信号をマグネットロンに注入することにより、マグネットロンの発振周波数を基準信号の周波数に引き寄せてロックする（周波数引き込み）ことで、マグネットロンから放射されるマイクロ波の周波数制御が行われている。

【0003】 ここで、マグネットロンに対し、固有発振周波数とは周波数の異なる弱い基準信号を注入し、その信号強度比により決定される周波数差以内であれば、マグネットロンからの発生マイクロ波が弱い基準信号に同期するという現象は古くから知られている。基準信号をマグネットロンに注入することで、マグネットロンの発振周波数を基準信号の周波数に同期させロックするという注入同期法は、アドラー（Adler）により定式化されている（Adler, R., "A Study of Locking Phenomena in Oscillators", Proceedings of I.R.E and Waves and Electrons, pp. 351-357, 1946）。

【0004】 また、上記注入同期法とマグネットロンの発振周波数を制御するフィードバックループを組み合わせることで、マグネットロンの位相を基準信号によって制御する方法が、W. C. ブラウン（W. C. Brown）によって開発されている（Brown, W. C., "Update on the Solar Power Satellite Transmitter Design", Space Power, Vol. 6, pp. 123-135, 1986）。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、ブラウンは、マグネットロンの発振周波数制御法として、コイルを用いて電磁界を制御する方法をとっており、以後、その制御法が広く採用されている。しかしながら、この制御法では、マグネットロンの発振周波数制御幅が非常に小さいために、安定性が十分とは言えない。このため、マグネットロンを用いたマイクロ波発生装置は、出力位相の安定化が困難で、例えばアクティブフェーズドアレイのように高精度の位相制御が要求されるアンテナ装置には使用できないという問題が生じている。

【0006】 そこで、本発明は、上記の問題を解決し、マグネットロンの発振出力の位相を容易に安定化させ、制御可能とするマグネットロン周波数／位相制御回路を提供し、さらにこの制御回路を採用することで、マグネットロンを用いても位相安定度が高く、かつ任意の位相のマイクロ波を出力可能なマイクロ波発生装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 上記の目的を達成するために、本発明は、フィードバックループによるマグネットロンの周波数制御方式として、アノード電流を制御する

ことで、安定な位相制御を実現する。

【0008】すなわち、本発明に係るマグネットロン周波数／位相制御回路は、マグネットロンにアノード電流を供給して発振状態とするアノード電流源と、前記マグネットロンの固有発振周波数に近い周波数を持つ基準信号を前記マグネットロンに注入して、前記マグネットロンの発振周波数を前記基準信号の周波数に引き込んで同期させる注入同期手段と、前記マグネットロンの発振出力と前記基準信号とを比較して両者の周波数及び位相誤差を求め、前記アノード電流源のアノード電流出力を制御して前記周波数及び位相誤差を補正するフィードバック制御手段とを具備することを特徴とする。

【0009】この構成によれば、同期注入法によりマグネットロンの発振周波数を基準信号の周波数に引き込み、フィードバック制御により周波数及び位相をロックすることができる。この際、マグネットロンのアノード電流を制御することで周波数及び位相をロックしていることから、コイルによる電磁波で制御していた従来の方法と比較して制御幅を極めて広くとることができ、これによって安定性を向上させることができる。

【0010】さらに、前記基準信号の位相を制御する位相制御手段を備えるようにすれば、マグネットロンの発振周波数及び位相が基準信号の周波数及び位相に高安定でロックしていることから、位相制御手段により基準信号の位相を可変することで、前記マグネットロンの発振出力位相を容易にかつ高精度に制御することができる。

【0011】前記基準信号のマグネットロンへの注入及びこのマグネットロンの発振出力の取り出しには、サーチュレータを用いることができる。

【0012】また、本発明に係るマグネットロンを用いたマイクロ波発生装置は、マグネットロンにアノード電流を供給して発振状態とすることで前記マグネットロンにマイクロ波を放射させるアノード電流源と、前記マグネットロンの固有発振周波数に近い周波数を持つ基準信号を生成する基準信号生成器と、この基準信号生成器から出力される基準信号を前記マグネットロンに注入して、前記マグネットロンの発振周波数を前記基準信号の周波数に引き込んで同期させる注入同期手段と、前記マグネットロンの発振出力と前記基準信号とを比較して両者の周波数及び位相誤差を求め、前記アノード電流源のアノード電流出力を制御して前記周波数及び位相誤差を補正するフィードバック制御手段とを具備することを特徴とする。

【0013】この構成は、マグネットロンを用いたマイクロ波発生装置に上記マグネットロン周波数／位相制御回路を適用したもので、これによって安定性に優れたマイクロ波を生成することができる。

【0014】さらに、前記基準信号の位相を制御する可変移相器を備えれば、この可変移相器により基準信号の位相を制御することで、前記マイクロ波出力を任意の位相に容易にかつ高精度に制御することができ、これによ

って例えばアクティブフェーズドアレイに用いることが可能となる。

【0015】前記基準信号のマグネットロンへの注入及びこのマグネットロンから放射されるマイクロ波の取り出しには、サーチュレータを用いることができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0017】図1は、マグネットロンを用いたマイクロ波

10 発生装置に本発明に係るマグネットロン周波数／位相制御回路を適用した場合の構成を示すものである。図1において、符号11がマグネットロンで、このマグネットロン11のアノード（陽極）・カソード（陰極）間には、高圧直流安定化電源12により高圧直流電流（以下、アノード電流と称する）が流され、これによってマグネットロン11は発振状態に設定される。

【0018】一方、基準信号発生器13は、マグネットロン11の固有発振周波数に近い周波数を持つ基準信号を発生するもので、ここで発生された基準信号は可変移相器14を介して分配器15に供給される。この分配器15は入力した基準信号を2系統に分配するもので、一方の系統の基準信号はサーチュレータ16に供給され、他方の系統の基準信号は混合器17に供給される。

【0019】上記サーチュレータ16は、分配器15から供給される基準信号を第1端子から入力し、この入力基準信号を第2端子から出力してマグネットロン11に注入し、マグネットロン11から放射されるマイクロ波を第2端子から取り込んで第3端子から出力する。このサーチュレータ16から出力されるマイクロ波は方向性結合器18を介して外部出力され、例えばホーンアンテナ等の給電系へ送られる。

【0020】上記方向性結合器18はマイクロ波出力の一部を分岐出力するもので、このマイクロ波分岐出力は減衰器19により減衰（例えば-30デシベル）されて上記混合器17に供給される。この混合器は、分配器15からの基準信号と減衰器19からのマイクロ波出力を入力して混合するもので、この混合器17の出力は、低域通過フィルタ（L P F）20により不要な高調波成分が除去され、基準信号とマイクロ波出力との周波数差／位相差相当の直流電圧信号に変換される。この直流電圧信号はアナログ／デジタル変換器（A／D）21によりデジタル信号に変換されて、アノード電流制御演算器22に供給される。

【0021】上記アノード電流制御演算器22は、デジタル処理により、入力電圧信号から基準信号に対するマグネットロン発振出力の周波数／位相誤差を求め、その誤差を減少させるためのアノード電流制御信号を演算出力するもので、この制御信号はデジタル／アナログ変換器（D／A）23によりアナログ制御信号に変換されて高圧直流安定化電源12に供給される。高圧直流安定化電

源12は、この制御信号に応じてマグネットロン11のアノード電流を増減し、その発振周波数を制御する。

【0022】上記構成において、以下にその処理動作を説明する。

【0023】まず、マグネットロン11は高圧直流安定化電源12によってアノード電流が流れ、発振状態にあるとする。この状態で、基準信号発生器13で発生された、マグネットロン11の固有発振周波数に近い周波数を持つ基準信号をサーキュレータ16を介してマグネットロン11に注入する。この結果、マグネットロン11の発振周波数は基準信号の周波数に引き込まれていく。

【0024】マグネットロン11から放射されるマイクロ波は、サーキュレータ16、方向性結合器18を介して外部出力される。このとき、サーキュレータ16の持つ特性により、マイクロ波出力が基準信号入力側に戻ることはない。

【0025】次に、上記方向性結合器18で抽出されたマイクロ波出力を減衰器19により減衰した後、混合器20によって分配器15からの基準信号と比較する。アノード電流制御演算器22は、この比較結果からマイクロ波出力、すなわちマグネットロン11の発振周波数信号と基準信号との周波数誤差及び位相誤差を検出する。そして、マグネットロン11の発振周波数を基準信号に近づけるように、電源12を通じてマグネットロン11のアノード電流値を制御し、互いに周波数が一致し、位相が90°差となるまでアノード電流を変化させる。

【0026】このように、マグネットロン11のアノード電流を、その発振周波数信号と基準信号との比較によるフィードバックループによって制御することで、マグネットロン11の発振周波数を基準信号に一致させ、位相を90°差にロックすることができる。この場合、アノード電流による周波数制御幅は、コイルを用いて電磁界を制御する場合に比して格段に広くとることができる。

【0027】図2にアノード電流制御による周波数ロック過程におけるマグネットロン11の周波数スペクトルの時間変化を示す。この例では、マグネットロン11の固有発振周波数2.465GHzに対して基準信号の周波数を2.45GHzとしている。図2において、(a)が注入当初の周波数スペクトルを示しており、この周波数スペクトルは、以後(b)、(c)、(d)の順に変化していく。この図から、当初2波であったものが最終的に1波になり、マグネットロン11の出力周波数が基準信号の周波数に一致することがわかる。

【0028】以上のように、フィードバックループは、マグネットロン11の発振周波数を基準信号に近づけるようにマグネットロン11のアノード電流値を変化させ、最終的に発振周波数を基準信号の周波数に一致させてロッ

クする。この結果、基準信号の位相を可変移相器14で変化させると、マグネットロン11の発振周波数及び位相は基準信号の位相変化に追従する。したがって、可変移相器14で基準信号の位相を制御するだけで、マグネットロン11の発振周波数及び位相を容易に制御することができる。

【0029】本実施形態のマイクロ波発生装置によれば、マグネットロン11から放射されるマイクロ波の位相を高安定な状態で制御可能であるため、アクティブフェーズドアレイに用いることが可能となる。すなわち、複数個のマイクロ波発生装置をアンテナ素子ごとに用意し、指定されたビーム指向方向の励振位相分布に合わせて各マイクロ波発生装置のマイクロ波位相を制御することで、電気的にビームの方向を制御することができる。

【0030】また、図2の周波数スペクトル波形からわかるように、波形の綺麗な基準信号にマグネットロン11の発振周波数がロックするため、発振周波数スペクトルが改善され、マイクロ波出力の品質向上に寄与することができる。

【0031】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、マグネットロンの発振出力の位相を容易に安定化させ、制御可能とするマグネットロン周波数／位相制御回路を提供し、さらにこの制御回路を採用することで、マグネットロンを用いても位相安定度が高く、かつ任意の位相のマイクロ波を出力可能なマイクロ波発生装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係るマグネットロンを用いたマイクロ波発生装置の一実施形態の構成を示すブロック回路図。

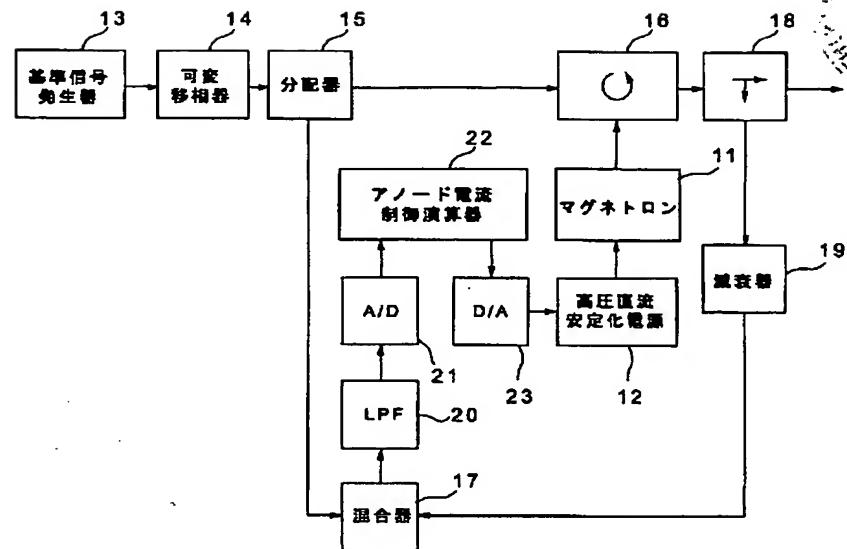
【図2】 同実施形態において、周波数ロック過程におけるマグネットロンの周波数スペクトラムの時間変化を示すスペクトラム波形図。

【符号の説明】

1 1 …マグネットロン
1 2 …高圧直流安定化電源
1 3 …基準信号発生器
1 4 …可変移相器
1 5 …分配器

40 1 6 …サーキュレータ
1 7 …混合器
1 8 …方向性結合器
1 9 …減衰器
2 0 …低域通過フィルタ（L P F）
2 1 …アナログ／デジタル変換器（A／D）
2 2 …アノード電流制御演算器
2 3 …デジタル／アナログ変換器（D／A）

【図1】



【図2】

